

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

20.06.03 *XV*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年 6月20日

出願番号  
Application Number: 特願2002-179910

[ST. 10/C]: [JP2002-179910]

出願人  
Applicant(s): 宇部興産株式会社

REC'D 08 AUG 2003

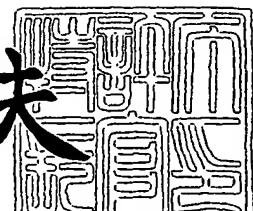
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 7月25日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



Best Available Copy

【書類名】 特許願  
【整理番号】 MIP0261TY1  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H03H 09/15  
【発明者】  
【住所又は居所】 山口県宇部市大字小串 1978 番地の 5 宇部興産株式会社 宇部研究所内  
【氏名】 山田 哲夫  
【発明者】  
【住所又は居所】 山口県宇部市大字小串 1978 番地の 5 宇部興産株式会社 宇部研究所内  
【氏名】 西村 浩介  
【発明者】  
【住所又は居所】 山口県宇部市大字小串 1978 番地の 5 宇部興産株式会社 宇部研究所内  
【氏名】 長尾 圭吾  
【特許出願人】  
【識別番号】 000000206  
【氏名又は名称】 宇部興産株式会社  
【代表者】 常見 和正  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 012254  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【フルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 薄膜圧電共振器、薄膜圧電デバイスおよびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の振動空間を有する基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを含み、該基板に複数の薄膜圧電共振器の形成された薄膜圧電デバイスであって、前記圧電積層構造体は、少なくとも圧電体膜と該圧電体膜の両面の一部に形成された金属電極とを有し、前記圧電積層構造体は、前記振動空間上部に位置するダイアフラムと、振動空間を除く前記基板の上部に位置する支持領域とからなり、電気的に接続された隣り合う 2 つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心を通過する直線が該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する前記支持領域を通過する線分の長さ D1 と、前記隣り合う 2 つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心間距離 D0 との比率  $D1/D0$  が 0.1 ~ 0.5 である少なくとも 1 組の薄膜圧電共振器を有することを特徴とする薄膜圧電デバイス。

【請求項 2】 少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電積層構造体が、前記基板側から順に積層された、下部電極、圧電体膜および上部電極とからなることを特徴とする請求項 1 記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項 3】 少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の上部電極が 2 つの電極から構成されていることを特徴とする請求項 2 記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項 4】 少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電積層構造体が、前記基板側から順に積層された、下部電極、圧電体膜、内部電極、圧電体膜および上部電極とからなることを特徴とする請求項 1 記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項 5】 前記薄膜圧電共振器の振動部位に少なくとも一層の酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁体層を有することを特徴とする請求項 2 ~ 4 記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項 6】 前記圧電積層構造体の支持領域と前記基板との間にのみ少なくとも一層の酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁体層を有することを特徴とする請求項 2 ~ 4 記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項 7】 少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜が c 軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜であって、その (0002) 面の回折ピークの

ロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が3.0°以下であることを特徴とする請求項1～6記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項8】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜が一般式 $A_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表され、c軸配向を示す窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体より成る配向性結晶膜であって、その（0002）面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が3.0°以下であることを特徴とする請求項1～6記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項9】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜がc軸配向を示す酸化亜鉛薄膜であって、その（0002）面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が3.0°以下であることを特徴とする請求項1～6記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項10】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜がチタン酸鉛薄膜またはチタン酸ジルコン酸鉛薄膜であることを特徴とする請求項1～6記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項11】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの平面形状は、2対の対辺を有し、少なくとも一方の対の対辺が非平行に形成されていることを特徴とする請求項1～10記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項12】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの平面形状は、少なくともその一部が非方形の不規則な多角形で形成されていることを特徴とする請求項1～10記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項13】 少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの平面形状は、少なくともその一部に曲線部分を含む非方形の不規則な多角形で形成されていることを特徴とする請求項1～10記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項14】 前記薄膜圧電デバイスが薄膜圧電フィルターであることを特徴とする請求項1～10記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項15】 前記薄膜圧電デバイスが、直列接続された薄膜圧電共振器と分路接続された薄膜圧電共振器とを備えた梯子型回路で構成された薄膜圧電フィルターであることを特徴とする請求項14に記載の薄膜圧電デバイス。

【請求項16】 前記薄膜圧電デバイスが、複数個の薄膜圧電フィルターを

備えた送受信切替器であることを特徴とする請求項1～13記載の薄膜圧電デバイス。

**【請求項17】** 薄膜圧電デバイスが、複数個の薄膜圧電フィルターを備えた送受信切替器であり、該薄膜圧電フィルターが、直列接続された薄膜圧電共振器と分路接続された薄膜圧電共振器とを含む梯子型回路で構成されていることを特徴とする請求項16に記載の薄膜圧電デバイス。

**【請求項18】** 薄膜圧電共振器を構成する半導体あるいは絶縁体からなる基板に、プラズマを利用した深いトレンチエッティングであるDeep RIE（深彫り型反応性イオンエッティング）法によって振動空間を設ける工程を有することを特徴とする請求項1～17記載の薄膜圧電デバイスの製造方法。

**【請求項19】** 振動空間を有する基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とからなる薄膜圧電共振器であって、該圧電積層構造体は少なくとも圧電体膜と該圧電体膜の両面の一部に形成された金属電極とを有し、前記振動空間がDEEP RIE（深彫り型反応性イオンエッティング）法により前記基板の一面から対向面に向かって垂直に近いテーオー角で形成されていることを特徴とする薄膜圧電共振器。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、圧電体薄膜を利用した薄膜圧電共振器を複数個組み合せることにより作製される薄膜圧電デバイスに関するものであり、更に詳細に記せば、通信機用フィルターに使用される薄膜圧電共振器、薄膜圧電デバイスおよびその製造方法に関する。

##### 【0002】

また、本発明は、移動体通信機等に利用される薄膜フィルター、送受信切替器、薄膜VCO（電圧制御発振器）や各種センサーなど、広範な分野で用いられる圧電体薄膜を応用した薄膜圧電共振器、およびそのデバイスならびにその製造方法に関する。

##### 【0003】

### 【従来の技術】

圧電現象を応用したデバイスは広範な分野で用いられている。携帯機器の小型化と省力化が進む中で、RF用およびIF用フィルターとして弹性表面波（Surface Acoustic Wave: SAW）デバイスの使用が拡大している。SAWフィルターは設計および生産技術の向上によりユーザーの厳しい要求仕様に対応してきたが、利用周波数の高周波数化と共に特性向上の限界に近づき、電極形成の微細化と安定した出力確保の両面で大きな技術革新が必要となってきた。

### 【0004】

一方、圧電体薄膜の厚み振動を利用した薄膜バルク波共振器（Thin Film Bulk Acoustic Resonator: 以下FBAR）、積層型薄膜バルク波共振器およびフィルター（Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and Filters: 以下SBAR）は、基板に設けられた薄い支持膜の上に、主として圧電体より成る薄膜と、これを駆動する電極を形成したものであり、ギガヘルツ帯での基本共振が可能である。FBARまたはSBARでフィルターを構成すれば、著しく小型化でき、かつ低損失・広帯域動作が可能な上に、半導体集積回路と一体化することができるので、将来の超小型携帯機器への応用が期待されている。

### 【0005】

このような弹性波を利用した共振器、フィルター等に応用されるFBAR、SBARなどの薄膜圧電振動子は、以下のようにして製造される。

### 【0006】

シリコンなどの半導体単結晶、シリコンウエハー上に形成された多結晶ダイヤモンド、エリンバーなどの恒弾性金属などの基板上に、種々の薄膜形成方法によって、誘電体薄膜、導電体薄膜、またはこれらを積層した下地膜を形成する。この下地膜上に圧電体薄膜を形成し、さらに必要に応じた上部構造を形成する。各層の形成後に、または全層を形成した後に、各々の膜に物理的処理または化学的処理を施すことにより、微細加工、パターニングを行う。湿式法に基づく異方性エッチングにより基板から振動部の下に位置する部分を除去した浮き構造を作製

した後、最後に1デバイス単位に分離することにより薄膜圧電デバイスを得る。

### 【0007】

例えば、特開昭58-153412号公報や特開昭60-142607号公報に記載された薄膜圧電振動子は、基板の上面に下地膜、下部電極、圧電体薄膜および上部電極を形成した後に、基板の下面側から振動部となる部分の下にある基板部分を除去して、ビアホールを形成することにより製造されている。基板がシリコンからなるものであれば、加熱KOH水溶液を使用してシリコン基板の一部を裏面からエッチングして取り去ることにより、ビアホールを形成する。これにより、シリコン基板の前面側において、圧電材料の層が複数の金属電極の間に挟み込まれた構造体の縁部をビアホールの周囲の部分で支持した形態を有する共振器を作製できる。

### 【0008】

しかしながら、KOHなどのアルカリを使用した湿式エッチングを行うと、(111)面に平行にエッチングが進行するため、(100)シリコン基板表面に対して54.7度の傾斜でエッチングが進行し、隣り合う共振器の間の距離を著しく遠くにしなければならない。例えば、厚さ $300\mu\text{m}$ のシリコンウェーハの上に構成された約 $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$ の平面寸法を有するデバイスは、約 $575\mu\text{m} \times 575\mu\text{m}$ の裏面側エッチング孔を必要とし、隣り合う共振器の中心間距離は $575\mu\text{m}$ 以上になってしまう。このことは、FBAR共振器の集積化を妨げるばかりでなく、圧電体層を挟んで隣り合う共振器を接続する金属電極が長くなり、その電気抵抗が大きくなるために、FBAR共振器を複数個組み合わせて作製される薄膜圧電デバイスの挿入損失が著しく大きくなるという問題がある。また、最終製品の取得量、即ち、ウェーハ上の薄膜圧電デバイスの歩留まりも制限を受け、ウェーハの約1/15の領域をデバイス生産に利用できるだけとなる。

### 【0009】

薄膜圧電デバイスに応用されるFBAR、SBARなどの薄膜圧電共振器を製造する従来技術の第2の方法は、例えば特開平2-13109号公報に記載のように、空気ブリッジ式FBARデバイスを作ることである。通常、最初に犠牲層

(Sacrificial layer) を設置し、次にこの犠牲層の上に圧電共振器を製作する。プロセスの終わりまたは終わり近くに、犠牲層を除去して、振動部を形成する。処理はすべてウェハー前面で行なわれるから、この方法は、ウェハー両面におけるパターンの整列および大面積のウェハー裏面側開口部を必要としない。特開2000-69594号公報には、犠牲層として燐石英ガラス(PSG)を使用した空気ブリッジ式のFBAR/SBARデバイスの構成と製造方法が記載されている。

### 【0010】

しかしながら、この方法においては、エッチングによるウェハー前面への空洞形成、熱CVD (Chemical Vapor Deposition) 法によるウェハー前面への犠牲層の堆積、CMP研磨によるウェハー表面の平坦化および平滑化、犠牲層上への下部電極、圧電体および上部電極の堆積とパターン形成という一連の工程の後に、空洞まで貫通するバイア(穴)を開け、ウェハー前面に堆積させた上部構造をレジスト等で保護して、バイアを通してエッチング液を浸透させることにより犠牲材料を空洞から除去する、という長くて複雑な工程を必要とし、パターン形成に使用するマスク数も大幅に増加する。製造工程が長くて複雑になると、それ自体、デバイスの高コスト化をもたらすと共に、製品の歩留りが低下して、更にデバイスを高コストなものにしてしまう。このような高価なデバイスを移動体通信機用の汎用部品として普及させることは困難である。また、燐石英ガラス(PSG)などの犠牲材料を除去するために使用するエッチング液が、上部構造を形成する下部電極、圧電体および上部電極の各層を浸食してしまうので、前記の上部構造に使用できる材料が著しく限定されるばかりでなく、所望の寸法精度を有するFBARまたはSBAR構造を作製することが難しいという深刻な問題がある。

### 【0011】

薄膜圧電デバイス用の圧電材料としては、窒化アルミニウム(AlN)、酸化亜鉛(ZnO)、硫化カドミウム(CdS)、チタン酸鉛(PT(PbTiO<sub>3</sub>))、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT(Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>))などが用いられている。特にAlNは、弾性波の伝播速度が速く、高周波帯域で動作する薄

膜圧電共振器、薄膜フィルター用の圧電材料として適している。

### 【0012】

#### 【発明が解決しようとする課題】

F BAR および S BAR は薄膜中における弾性波の伝播によって共振を得ているため、圧電体薄膜の振動特性はもとより、電極層や下地膜の振動特性が F BAR および S BAR の共振特性に大きく影響する。このため、電極層および下地膜の形状、厚さに対しては、振動特性面から様々な制約が存在する。例えば、電極層や下地膜を厚くすると、F BAR および S BAR の実効的な電気機械結合係数が小さくなるという問題がある。一方、金属電極層を薄く、細長くすると、電気抵抗が高くなり、導体損が増加するため、複数個の F BAR または S BAR を組合せて作製される薄膜圧電デバイスの構造設計に種々の制約が生じてくる。

### 【0013】

このような理由により、ギガヘルツ帯域で十分な性能を発揮する薄膜圧電デバイスは、未だ得られていない。したがって、圧電薄膜のみならず、電極層や下地膜をも含めた振動部の電気機械結合係数、音響的品質係数（Q 値）、共振周波数の温度安定性、挿入損失などの特性が総て改善された、高性能な薄膜圧電デバイスの実現が強く望まれている。特に挿入損失は、共振器やフィルターを構成する上での性能を左右する重要なパラメーターであり、使用する金属電極薄膜の品質、特性に大きく依存している。

### 【0014】

本発明は、上記問題点を鑑みてなされたもので、本発明の目的は、電気機械結合係数が大きく、音響的品質係数（Q 値）、周波数温度特性に優れた F BAR または S BAR より成る複数個の共振器を組み合せることにより作製される、挿入損失が小さくて、性能の改良された薄膜圧電デバイスを提供することである。

### 【0015】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明によれば、以上のごとき目的を達成するものとして、音響的品質係数、帯域幅、温度特性などに優れ、挿入損失の小さな高性能薄膜圧電デバイスおよびこれを製造する方法が提供される。複数個の薄膜圧電共振器を組合せて作製され

るフィルターなどの薄膜圧電デバイスの挿入損失は金属電極層の導体損失に依存することが知られている。本発明者らは、隣り合う薄膜圧電共振器の間の中心間距離を短くすることにより、該隣り合う薄膜圧電共振器を電気的に接続する金属電極の電気抵抗が下がり、その結果、挿入損失を大幅に低下させることができるを考えた。そこで、隣り合う薄膜圧電共振器の間の中心間距離を短くする方策を種々検討した結果、プラズマを利用した深いトレンチエッティングである Deep RIE (深彫り型反応性イオンエッティング) 法による異方性エッティングを適用することが、薄膜圧電デバイスの高性能化と低コスト化の両面で最も好ましい解決手段であることを見出した。

#### 【0016】

即ち、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、

複数の振動空間を有する基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを含み、該基板に複数の薄膜圧電共振器の形成された薄膜圧電デバイスであって、前記圧電積層構造体は、少なくとも圧電体膜と該圧電体膜の両面の一部に形成された金属電極とを有し、前記圧電積層構造体は、前記振動空間上部に位置するダイアフラムと、振動空間を除く前記基板の上部に位置する支持領域とからなり、電気的に接続された隣り合う 2 つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心を通過する直線が該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する前記支持領域を通過する線分の長さ D1 と、前記隣り合う 2 つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心間距離 D0 との比率  $D1/D0$  が  $0.1 \sim 0.5$  である少なくとも 1 組の薄膜圧電共振器を有することを特徴とする薄膜圧電デバイスが提供される。

#### 【0017】

本発明の一態様においては、少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電積層構造体が、前記基板側から順に積層された、下部電極、圧電体膜および上部電極とからなる。

本発明の一態様においては、少なくとも 1 つの前記薄膜圧電共振器の上部電極が 2 つの電極から構成されていることを特徴とする。

#### 【0018】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電積層構造体が、前記基板側から順に積層された、下部電極、圧電体膜、内部電極、圧電体膜および上部電極とからなる。

#### 【0019】

本発明の一態様においては、前記薄膜圧電共振器の振動部位に少なくとも一層の酸化シリコンおよび／または窒化シリコンを主成分とする絶縁体層を有する。

また、本発明の一態様においては、前記圧電積層構造体の支持領域と前記基板との間にのみ少なくとも一層の酸化シリコンおよび／または窒化シリコンを主成分とする絶縁体層を有する。

#### 【0020】

以上のような本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜がc軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜であって、その(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.0°以下である。

#### 【0021】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜が一般式 $A_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表され、c軸配向を示す窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体より成る配向性結晶膜であって、その(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.0°以下である。

#### 【0022】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜がc軸配向を示す酸化亜鉛薄膜であって、その(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.0°以下である。

#### 【0023】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記圧電体膜がチタン酸鉛薄膜またはチタン酸ジルコン酸鉛薄膜である。

#### 【0024】

以上のような本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振

器の前記ダイアフラムの平面形状は、2対の対辺を有し、少なくとも一方の対の対辺が非平行に形成されていることを特徴とする薄膜圧電デバイスが提供される。

#### 【0025】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの平面形状は、少なくともその一部が非方形の不規則な多角形で形成されていることを特徴とする薄膜圧電デバイスが提供される。

#### 【0026】

本発明の一態様においては、少なくとも1つの前記薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの平面形状は、少なくともその一部に曲線部分を含む非方形の不規則な多角形で形成されていることを特徴とする薄膜圧電デバイスが提供される。

#### 【0027】

以上のような本発明の一態様においては、薄膜圧電デバイスとして、薄膜圧電フィルターが提供される。

#### 【0028】

本発明の一態様においては、薄膜圧電デバイスが、直列接続された薄膜圧電共振器と分路接続された薄膜圧電共振器とを備えた梯子型回路で構成された薄膜圧電フィルターである。

#### 【0029】

本発明の一態様においては、前記薄膜圧電デバイスが、複数個の薄膜圧電フィルターを備えた送受信切替器である。

#### 【0030】

本発明の一態様においては、薄膜圧電デバイスが、複数個の薄膜圧電フィルターを備えた送受信切替器であり、該薄膜圧電フィルターが、直列接続された薄膜圧電共振器と分路接続された薄膜圧電共振器とを含む梯子型回路で構成されていることを特徴とする。

**【0031】**

さらに、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、薄膜圧電共振器を構成する半導体あるいは絶縁体からなる基板に、プラズマを利用した深いトレンチエッティングであるDeep RIE（深彫り型反応性イオンエッティング）法によって振動空間を設ける工程を有することを特徴とする前記の薄膜圧電デバイスの製造方法が提供される。

**【0032】**

また、本発明は、振動空間を有する基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とからなる薄膜圧電共振器であって、該圧電積層構造体は少なくとも圧電体膜と該圧電体膜の両面の一部に形成された金属電極とを有し、前記振動空間がD E E P R I E（深彫り型反応性イオンエッティング）法により前記基板の一面から対向面に向かって垂直に近いテーパー角で形成されていることを特徴とする薄膜圧電共振器に関するものである。

**【0033】**

本発明では、半導体あるいは絶縁体からなる基板の上面に、圧電材料の層が複数の金属電極の間に挟み込まれた構造を有する振動部を形成するにあたり、プラズマを利用した深いトレンチエッティングであるDeep RIE（深彫り型反応性イオンエッティング）法によって、振動部となる部分の下にある基板部分を基板の下面側から異方的に除去して、振動空間となるビアホールを形成する。即ち、Deep RIE法の適用により、前記基板の一面から対向面に向かって垂直に近いテーパー角で形成されて、振動空間に下部電極または絶縁体層が面した部位であるダイアフラムの寸法と基板下面開口部の寸法との差が小さなビアホールを形成して、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離を短くすることができる。ここでテーパー角とは、基板の一面から対向面に向かって形成された側壁を代表する平均平面と基板下面との為す角度であり、テーパー角80～100度あれば、垂直に近いと言える。電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心（幾何学的重心）を結ぶ直線上において、該直線が隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電

共振器の中心間距離D<sub>0</sub>との比率D<sub>1</sub>/D<sub>0</sub>が0.1～0.5となるような位置に複数個の薄膜圧電共振器を構成して、これをデバイス化する。電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器のすべての組合せに上記比率D<sub>1</sub>/D<sub>0</sub>が0.1～0.5になるような配置が好ましいが、少なくとも1組の薄膜圧電共振器にこのような配置が適用されていてもよい。このように集積化された複数個の薄膜圧電共振器を組み合わせることにより、挿入損失が小さくて高特性、高性能な薄膜圧電デバイスを製造することができる。

#### 【0034】

本発明における薄膜圧電共振器の中心とは、薄膜圧電共振器を構成するダイアフラムの中心であり、ダイアフラムの幾何学的重心を意味する。幾何学的重心は、任意の閉曲線で囲まれた形状について、その重力方向の釣り合いを2ヶ所実測して求めることができるが、図形的に求めることも可能である。例えば、四角形については、コクセター著の「幾何学入門」に記載のごとく、「四角形の4つの辺の3等分点を通る四角形を作ると、この四角形は平行四辺形である」。このとき、その対角線の交点が幾何学的重心となる。また、n角形の場合には、n角形の1頂点を始点とした対角線を引いて、n-2個の三角形に分割する。分割したそれぞれの三角形の重心の加重平均を求めれば、n角形全体の重心が得られる。

#### 【0035】

本発明における薄膜圧電共振器を構成する前記圧電積層構造体は、振動空間を有する基板との位置関係により、2つの領域から形成されている。1つの領域は、前記振動空間上部に位置するダイアフラムであり、もう1つの領域は前記振動空間を除く基板部（支持部）上部に位置する支持領域である。

本発明においては、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心、即ち、ダイアフラムの中心を結ぶ直線は、該隣り合う薄膜圧電共振器のダイアフラム上および両者の間に存在する前記支持領域を通過する。隣り合う薄膜圧電共振器のダイアフラム上を通過する線分の長さを、それぞれD<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>とし、支持領域を通過する線分の長さをD<sub>1</sub>とすれば、該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D<sub>0</sub>は、

$$D_0 = D_1 + D_2 + D_3$$

と表される。

### 【0036】

本発明においては、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心（ダイアフラムの中心）を結ぶ直線が、隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0が0.1～0.5、好ましくは0.18～0.3となるような位置に個々の薄膜圧電共振器を配置する。D1/D0比が0.1よりも小さく、隣り合う薄膜圧電共振器を構成するピアホールの側壁が薄くなり、強度が著しく低下して、取り扱いが困難となる。例えば、ダイシングなどの加工中やデバイス組立て中に壊れてしまうので好ましくない。この隣り合うピアホール間の側壁は、基板の上面に形成された圧電体層を含む構造体を支持する役目を果たしている。D1/D0比が0.5を超えると、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離が広がり過ぎ、両者を接続する金属電極の電気抵抗が大きくなってしまう。金属電極の電気抵抗が大きくなると、組立てた薄膜圧電デバイスの挿入損失が増大し、通信機用フィルターなどの高周波回路部品として実用に供することができなくなる。

### 【0037】

また、本発明によれば、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する前記の線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0が0.1～0.5となるような位置に構成された薄膜圧電共振器において、該薄膜圧電共振器の振動空間を構成するダイアフラムの平面形状を工夫し、最適化することにより、通過帯域内に余分なスプリアス信号、ノイズが入らず、低挿入損失で高特性、高性能な薄膜圧電デバイスを製造することができる。好ましいダイアフラム平面形状の具体例としては、少なくとも一方の対の対辺が非平行に形成されている2対の対辺を有する形状（四辺形）、少なくともその一部に非方形の不規則な多角形を含む多角形、少なくともその一部に曲線部分を含む非方形の不規則な多角形などが挙げられる。このように、ダイアフラムの平面形状の対称性を下げることにより、所望の通過帯域内に余分なスプリアス信号、ノイズが入って来ないようにすることができ、高周波回路

部品として使用される薄膜圧電デバイスの性能が向上する。

#### 【0038】

本発明の薄膜圧電デバイスは、複数の振動空間を有する基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とからなり、該基板に複数の薄膜圧電共振器の形成されており、その薄膜圧電共振器の一実施形態として、複数の振動空間を有する基板の上に、下部電極、圧電体膜および上部電極が形成されたものを挙げることが出来る。また、その際、上部電極は、2つの電極から構成されていてもよい。

#### 【0039】

また、本発明の薄膜圧電デバイスを構成する薄膜圧電共振器の他の実施形態として、前記圧電積層構造体が、前記基板側から順に積層された、下部電極、圧電体膜、内部電極、圧電体膜および上部電極とからなるものを挙げることが出来る。

#### 【0040】

本発明においては、薄膜圧電デバイス用の圧電材料として、窒化アルミニウム(A1N)、窒化アルミニウムー窒化ガリウム系固溶体(A<sub>11-x</sub>G<sub>x</sub>N)、酸化亜鉛(ZnO)、チタン酸鉛(PbTiO<sub>3</sub>)、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT(Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>))などを用いる。特にA1Nは、弹性波の伝播速度が速く、高周波帯域で動作する薄膜圧電共振器、薄膜フィルター用の圧電材料として適している。

#### 【0041】

前記の圧電体薄膜の特長を活かしつつ、共振周波数の温度安定性を改善するには、振動部位に絶縁体層として酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)を形成することが有効である。振動部位とは、前記ダイアフラムのうち、圧電膜を挟む少なくとも2つの電極が重なる領域を意味する。SiO<sub>2</sub>は正の温度係数を有しており、負の温度係数を有する前記の圧電体の共振周波数の温度変化を補償することができる。絶縁体層は、SiO<sub>2</sub>単層でも良く、SiO<sub>2</sub>および窒化シリコン(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>またはSiN<sub>X</sub>)を主成分とする複合層であっても良い。また、絶縁体層としてSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>単層またはSiN<sub>X</sub>単層を用いることもできる。さらに、圧電体層であるA1Nを絶縁材料として使用することも可能である。しかしながら、薄膜圧

電共振器本来の優れた共振特性を実現するには、絶縁体層の厚みに制約を設ける必要がある。例えば、AlNを主成分とする圧電体薄膜の厚さを $t$ 、前記酸化シリコンを主成分とする絶縁体層全体の厚さを $t'$ とした時に、 $0.1 \leq t' / t \leq 0.5$ を満たす範囲にある場合、特にその効果が顕著であり、電気機械結合係数、音響的品質係数および共振周波数の温度安定性の全てが良好となる。 $t' / t < 0.1$ となると、電気機械結合係数、音響的品質係数は向上する傾向を示すが、共振周波数の温度特性を改善する効果が小さくなる。また、 $t' / t > 0.5$ となると、絶縁体層の存在により、電気機械結合係数、音響的品質係数が損なわれてくる。また、絶縁体層がSiO<sub>2</sub>層で圧電体薄膜がAlNの組み合わせの場合には、共振周波数の温度係数が正の値で大きくなり、FBARとしての特性も損なわれる所以好ましくない。

#### 【0042】

本発明の薄膜圧電デバイスを構成する薄膜圧電共振器においては、共振周波数の温度特性を改善する目的で、上記のように、振動部位にSiO<sub>2</sub>および/または塗化シリコン(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>またはSiNx)を主成分とする絶縁体層を形成することもできるが、一方で、共振周波数の温度安定性が良好な圧電体を用いる場合には、絶縁体層を全く無くしてしまうことも可能である。即ち、SiO<sub>2</sub>を主成分とする絶縁体層が前記圧電積層構造体の支持領域と前記基板の支持部との間にのみ存在し、振動部位であるダイアフラムの部分には絶縁体層が存在しないような構成も採用することができる。

#### 【0043】

薄膜圧電デバイス用の圧電材料として使用される塗化アルミニウム(AlN)、塗化アルミニウム-塗化ガリウム系固溶体(Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N)、酸化亜鉛(ZnO)より成る圧電体薄膜は、それぞれc軸配向を示し、X線回折法により測定した(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は3.0°以下である。ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.0°を超えると、電気機械結合係数 $k_t^2$ が低下し、デバイス化に必要な通過帯域幅が取れなくなるばかりでなく、共振特性が悪化する。

#### 【0044】

チタン酸鉛（PT（PbTiO<sub>3</sub>））、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT（Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>））については、結晶の配向性を表すロッキング・カーブ半値幅（FWHM）の制約は設けられない。

#### 【0045】

以上のように、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離を短くし、ダイアフラムの平面形状が最適化された、共振特性の良好な複数個の薄膜圧電共振器を組み合せて集積化することにより、金属電極の導体損に起因する挿入損失を著しく低減でき、電気機械結合係数（例えば、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数K<sub>t<sup>2</sup></sub>が4.0%以上である）および音響的品質係数（Q値）が大きく、挿入損失が小さくて、利得、帯域特性に優れた高性能な薄膜圧電デバイスを実現することができる。このような高性能な薄膜圧電デバイスは、移動体通信機向けの各種デバイスとして利用することができる。また、本発明の薄膜圧電共振器は、前記振動空間がDEEP RIE（深彫り型反応性イオンエッチング）法により前記基板の一面から対向面に向かって垂直に近いテーパー角で形成されているために、薄膜圧電共振器同士を近接して設置することが可能となり、上記のような高性能のデバイスを提供できる。

#### 【0046】

##### 【発明の実施の形態】

以下に、本発明における薄膜圧電共振器、薄膜圧電デバイスおよびその製造方法の実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。

#### 【0047】

図8（a）は従来技術における薄膜圧電デバイスの実施形態を示す模式的平面図であり、図8（b）はそのX-X'断面図である。これらの図において、薄膜圧電デバイス100はFBAR110, FBAR120, FBAR130およびFBAR140を組み合せることにより作製されている。FBAR120は、基板12、該基板12の上面に形成された絶縁体層13、および該絶縁体層13の上面に作製された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、絶縁体層13の上面に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにし

て下地膜13の上面に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面に形成された上部電極17を備えている。基板12には、空隙を形成するビアホール22が設けられている。絶縁体層13の一部はビアホール22に向けて露出している。絶縁体層13の露出部分およびこれに対応する位置に存在する圧電積層構造体14の部分が、振動部となるダイアフラム23を構成する。また、下部電極15および上部電極17はダイアフラム23に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと他のFBARまたは外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bはダイアフラム23に対応する領域外に伸びている。FBAR110、FBAR130およびFBAR140の構成についても同様である。

#### 【0048】

従来技術においては、例えば基板12がシリコンからなるものであれば、加熱KOH水溶液を使用してシリコン基板の一部を裏面からエッチングして取り去ることにより、ビアホールを形成している。しかしながら、KOHなどのアルカリを使用した湿式エッチングを行うと、(111)面に平行にエッチングが進行するため、(100)シリコン基板表面に対して54.7度の傾斜でエッチングが進行し、隣り合う共振器の間の距離が著しく遠くなってしまう。例えば、厚さ300μmのシリコンウェーハの上面に構成された約150μm×150μmの平面寸法を有するダイアフラム23は、約575μm×575μmの裏面側エッチング開口部24を必要とし、隣り合う共振器の中心間距離は575μm以上になってしまふ。即ち、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する圧電積層構造体の支持領域の幅は、該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離の0.74倍以上の長い距離になってしまっている。

#### 【0049】

このことは、FBAR共振器の集積化を妨げるばかりでなく、圧電体層16を挟む金属電極（下部電極15と上部電極17）の電気抵抗が大きくなるために、FBAR共振器110、120、130および140を組み合わせて作製される薄膜圧電デバイス100の挿入損失が著しく大きくなってしまうという問題がある。

### 【0050】

これに対して、本発明の薄膜圧電デバイスにおける実施形態は、図1に示されている。図1（a）は本発明による薄膜圧電デバイスを示す模式的平面図であり、図1（b）はそのX-X'断面図、図1（c）はそのY-Y'断面図である。これらの図において、薄膜圧電デバイス200はFBAR210, FBAR220, FBAR230およびFBAR240を組み合せることにより作製されている。FBAR220は、基板12、該基板12の上面に形成された絶縁体層13、および該絶縁体層13の上面に作製された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、絶縁体層13の上面に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして絶縁体層13の上面に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面に形成された上部電極17を備えている。基板12には、空隙を形成するピアホール22が設けられている。絶縁体層13の一部はピアホール22に向けて露出している。この絶縁体層13の露出部分およびこれに対応する位置に存在する圧電積層構造体14の部分が、振動部を含むダイアフラム23を構成する。また、下部電極15および上部電極17はダイアフラム23に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと他のFBARまたは外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bはダイアフラム23に対応する領域外に伸びている。FBAR210, FBAR230およびFBAR240の構成についても同様である。

### 【0051】

本実施形態では、Deep RIE法の適用により、前記基板の一面から対向面に向かって垂直に近いテーパー角で形成され、振動空間に下部電極または絶縁体層が面した部位であるダイアフラムの寸法と基板下面開口部の寸法との差が小さなピアホールを形成しているため、隣り合う薄膜圧電共振器同士を接近させて設置することができるため、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心（幾何学的重心）を結ぶ直線上において、該直線が隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する圧電積層構造体の支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0を小さくすることができる。

### 【0052】

図2には、本発明による薄膜圧電デバイスにおける別の実施形態が示されている。図2（a）は本発明による薄膜圧電デバイスの別の実施形態を示す模式的平面図であり、図2（b）はそのX-X'断面図および図2（c）はそのY-Y'断面図である。これらの図において、上記図1におけるのと同様の機能を有する部材には同一の符号が付けられている。

### 【0053】

薄膜圧電デバイス200はFBAR210, FBAR220, FBAR230およびFBAR240を組み合せることにより作製されている。FBAR220は、基板12、該基板12の上面に形成された絶縁体層13、および該絶縁体層13の上面に橋架けされるように作製された圧電積層構造体14を有する。本実施形態においては、絶縁体層13は圧電積層構造体14の支持領域と基板の支持部との間にのみ存在する。絶縁体層は圧電積層構造体の支持領域と基板の支持部との間にのみ存在することにより、電気機械結合係数が高くなり、帯域幅が広がる。圧電積層構造体14は、その一部が絶縁体層13の上面に接している下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして絶縁体層13の上面に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面に形成された上部電極17を備えている。基板12には、空隙を形成するビアホール22が設けられている。下部電極15の一部は、絶縁体層13を介することなく、ビアホール22に向けて露出している。この下部電極15の露出部分およびこれに対応する位置に存在する圧電積層構造体14の部分が、振動部となるダイアフラム23を構成する。また、下部電極15および上部電極17はダイアフラム23に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと他のFBARまたは外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bはダイアフラム23に対応する領域外に伸びている。FBAR210, FBAR230およびFBAR240の構成についても同様である。

### 【0054】

本実施形態においても、図1の実施形態と同じく、隣り合う薄膜圧電共振器同士を接近させて設置することができるため、電気的に接続された隣り合う薄膜圧

電共振器の中心（幾何学的重心）を結ぶ直線上において、該直線が隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0を小さくすることができる。

#### 【0055】

図3には、本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態が示されている。図3(a)は本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図であり、図3(b)はそのX-X'断面図である。これらの図においても、上記図1におけるのと同様の機能を有する部材には同一の符号が付けられている。

#### 【0056】

薄膜圧電デバイス200はFBAR210, FBAR220, FBAR230, FBAR240およびFBAR250を組み合せることにより作製されている。FBAR220は、基板12、該基板12の上面に形成された絶縁体層13、および該絶縁体層13の上面に作製された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、絶縁体層13の上面に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして絶縁体層13の上面に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面に形成された上部電極17を備えている。基板12には、空隙を形成するビアホール22が設けられている。絶縁体層13の一部はビアホール22に向けて露出している。この絶縁体層13の露出部分およびこれに対応する位置に存在する圧電積層構造体14の部分が、振動部となるダイアフラム23を構成する。下部電極15はダイアフラム23に対応する領域内に形成された主体部15aと、該主体部15aと他のFBARまたは外部回路との接続のための端子部15bを有する。端子部15bはダイアフラム23に対応する領域外に伸びている。本実施形態では、上部電極17は、第1の電極部17Aと第2の電極部17Bとからなる。これら電極部17A, 17Bはそれぞれ主体部17Aa, 17Ba, 17Abと端子部17Ab, 17Bbとを有する。主体部17Aa, 17Baはダイアフラム23に対応する領域内に位置しており、該主体部17Aa, 17Baと他のFBARまたは外部回路との接続のための端子部17Ab, 17Bbはダイアフラム23に対応する領域外に伸びている。

### 【0057】

図3の実施形態に示す2個の上部電極を備えたF B A R 2 2 0は、多重モード共振器と呼ばれるものであり、上部電極17のうちの一方（例えば第2の電極部17B）と下部電極15との間に入力電圧を印加し、上部電極17のうちの他方（例えば第1の電極部17A）と下部電極15との間の電圧を隣のF B A R 2 1 0への出力電圧として伝播させることができるので、F B A R 2 2 0自体がフィルターとしての機能を発現する。このような構成のフィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、素子内配線を省略できるので、該配線に起因する損失が無く、阻止帯域の減衰特性が良好となって、周波数応答性が向上する。

### 【0058】

本実施形態においても、図1の実施形態と同じく、隣り合う薄膜圧電共振器同士を接近させて設置することができるため、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心（幾何学的重心）、即ち、ダイアフラムの中心を結ぶ直線上において、該直線が隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0を小さくすることができる。

### 【0059】

本発明の薄膜圧電デバイスの基板12としては、シリコン（100）単結晶などの半導体単結晶、シリコンウエハーなどの基材表面にダイヤモンドなどの多結晶膜を形成したものを用いることができる。基板12として、その他の半導体または絶縁体基板を用いることも可能である。

### 【0060】

本発明においては、プラズマを利用した深いトレンチエッティングであるD e e p R I E（深彫り型反応性イオンエッティング）法によって振動部となる部分の下にある基板部分を異方的に除去して、基板12にビアホール22を形成する。例えば、基板がシリコンからなるものであれば、エッティング装置内部にS F<sub>6</sub>ガスとC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>ガスとを交互に導入してエッティングと側壁保護とを繰り返すことにより、側面と底面のエッティング速度比を制御し、毎分数μmのエッティング速度で

、側壁を垂直に立てた深い角柱状または円柱状のピアホール加工を行うことができる。したがって、ダイアフラム23の平面形状および寸法と基板裏面の開口部24の平面形状および寸法とがほぼ等しくなり、隣り合う共振器を著しく接近させることができる。例えば、約 $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$ の横寸法を有するダイアフラム23を同寸法の裏側エッチング開口部24で形成することにより、隣り合う共振器の中心間距離を $180\mu\text{m}$ 前後の値にすることができる。

### 【0061】

これにより、F B A R 共振器の集積化が可能となり、圧電体層16を挟む金属電極（下部電極15と上部電極17）の電気抵抗を小さく抑えて、F B A R 共振器210、220、230および240を組み合せて作製される薄膜圧電デバイス200の挿入損失を著しく小さくすることができる。尚、基板12に形成される空隙は、ピアホール22によるものには限定されず、振動部となるダイアフラム23の振動を許容するものであれば、別の形態であってもよい。

### 【0062】

絶縁体層13としては、酸化シリコン（SiO<sub>2</sub>）または窒化シリコン（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>またはSiN<sub>X</sub>）を主成分とする誘電体膜を用いることができる。この絶縁体層13の材質について、主成分とは、誘電体膜中の含有量が50当量%以上である成分を指す。誘電体膜は、単層からなるものであっても良いし、密着性を高めるための層などを付加した複数層からなるものであっても良い。複数層からなる誘電体膜の例としては、前記の酸化シリコン（SiO<sub>2</sub>）層と窒化シリコン（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>またはSiN<sub>X</sub>）層とを積層したものが例示される。絶縁体層13の厚さは、例えば $0.2 \sim 1.0\mu\text{m}$ である。絶縁体層13の形成方法としては、シリコンからなる基板12の表面を熱酸化する方法やC V D（Chemical V a p o r D e p o s i t i o n）法が例示される。さらに、ダイアフラム部に存在する誘電体膜を完全に除去してしまうことも可能である。

### 【0063】

下部電極15および上部電極17としては、モリブデン（Mo）、タンゲステン（W）、白金（Pt）などの導電膜を用いることができる。Moは熱弾性損失がA1の約 $1/56$ と低いことから、特に高周波で振動する振動部を構成するの

に好適である。Mo単体、W単体だけでなく、MoまたはWを主成分（好ましくは含有量が80原子%以上）とする合金を使用することも可能である。また、MoまたはWとチタン（Ti）、ジルコニウム（Zr）などの密着力を向上させる下地層、および／またはアルミニウム（Al）、金（Au）、白金（Pt）などの面心立方構造の良導性金属とを積層した電極を使用することも可能である。例えば、Mo/Ti積層膜、W/Ti積層膜、Mo/Zr積層膜、Pt/Ti積層膜、Au/Ti積層膜、Au/Cr積層膜、Mo/Al/Ti積層膜、Mo/Au/Ti積層膜などを用いることができる。下部電極15および上部電極17の厚さは、例えば50～250nmである。下部電極15および上部電極17の形成方法としては、スパッタリング法または真空蒸着法が例示され、さらに必要に応じて所望の形状へのパターン形成のためにフォトリソグラフィー技術が適用される。

#### 【0064】

圧電体膜16は、窒化アルミニウム（AlN）、窒化アルミニウム—窒化ガリウム系固溶体（Al<sub>1-x</sub>G<sub>x</sub>N（但し、0 < x < 1））、酸化亜鉛（ZnO）、チタン酸鉛（PT（PbTiO<sub>3</sub>））、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT（Pb（Zr, Ti）O<sub>3</sub>））などから選ばれる圧電材料を主成分とする圧電体膜からなる。窒化アルミニウム（AlN）、窒化アルミニウム—窒化ガリウム系固溶体（Al<sub>1-x</sub>G<sub>x</sub>N）、酸化亜鉛（ZnO）より成る圧電薄膜は、それぞれc軸配向を示し、X線回折法により測定した（0002）面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）は3.0°以下である。ロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が3.0°を超えると、電気機械結合係数k<sub>t2</sub>が低下し、デバイス化に必要な通過帯域幅が取れなくなるばかりでなく、共振特性が悪化する。圧電体膜16の厚さは、例えば0.5～2.5μmである。圧電体膜16の形成方法としては、反応性スパッタリング法が例示され、さらに必要に応じて所要の形状へのパターン形成のためにフォトリソグラフィー技術が適用される。

#### 【0065】

図4（a）は、本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図であり、図4（b）はそのダイアフラム間の各距離を示す説明図であ

る。この図においても、上記図1におけるのと同様の機能を有する部材には同一の符号が付けられている。図4の薄膜圧電デバイス200はF BAR 210, F BAR 220, F BAR 230, F BAR 240およびF BAR 250を組み合せることにより作製されている。

#### 【0066】

本発明においては、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心（即ち、ダイアフラムの中心）を結ぶ直線上において、該直線が隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する圧電積層構造体の支持領域を通過する線分の長さD1と該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0との比率D1/D0が0.1～0.5となるような位置に複数個の薄膜圧電共振器を配置して、これをデバイス化する。図4の薄膜圧電デバイス200において、隣り合う薄膜圧電共振器の中心を結ぶ直線が、該隣り合う薄膜圧電共振器のダイアフラム上を通過する線分の長さを、それぞれD2, D3とし、該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さをD1とすれば、該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D0は、図4（b）に示すように、

$$D0 = D1 + D2 + D3$$

と表される。

#### 【0067】

図5（a）は、本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図であり、図5（b）はそのダイアフラム間の各距離を示す説明図である。この図においても、上記図1におけるのと同様の機能を有する部材には同一の符号が付けられている。図5の薄膜圧電デバイス200はF BAR 210, F BAR 220, F BAR 230およびF BAR 240を組み合せることにより作製されている。

#### 【0068】

本発明の薄膜圧電共振器においては、振動空間を構成するダイアフラムの平面形状を工夫し、最適化することにより、通過帯域内に余分なスプリアス信号、ノイズが入らず、低挿入損失で高特性、高性能な薄膜圧電デバイスを製造する。好みしいダイアフラム平面形状の具体例としては、少なくとも一方の対の対辺が非

平行に形成されている2対の対辺を有する形状（四辺形）、少なくともその一部に非方形の不規則な多角形を含む多角形、少なくともその一部に曲線部分を含む非方形の不規則な多角形などが挙げられる。図5の薄膜圧電デバイス200は、2対の対辺が共に非平行に形成された四辺形の例を示す。同図の薄膜圧電デバイス200においても、隣り合う薄膜圧電共振器の中心を結ぶ直線が、該隣り合う薄膜圧電共振器のダイアフラム上を通過する線分の長さを、それぞれD<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>とし、該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する支持領域を通過する線分の長さをD<sub>1</sub>とすれば、該隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離D<sub>0</sub>は、図5（b）に示すように、

$$D_0 = D_1 + D_2 + D_3$$

と表される。

### 【0069】

図4および図5に示した薄膜圧電デバイスの実施形態において、F BAR 220は、基板の上面に作製された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、絶縁体層の上面に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして絶縁体層の上面に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面に形成された上部電極17を備えている。また、下部電極15および上部電極17はダイアフラムに対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと他のF BARまたは外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bはダイアフラムに対応する領域外に伸びている。F BAR 210、F BAR 230、F BAR 240およびF BAR 250の構成についても同様である。

### 【0070】

図5に示したF BAR 210、F BAR 220、F BAR 230およびF BAR 240におけるように、振動空間を構成するダイアフラムを、その平面形状が2対の対辺が共に非平行である四辺形となるように形成して、ダイアフラムの対称性を下げることにより、所望の通過帯域内に余分なスプリアス信号、ノイズが入って来ないようにすることができ、高周波回路部品として使用される薄膜圧電デバイスの性能が向上する。

## 【0071】

以上のような薄膜圧電デバイスを構成する個々の薄膜圧電共振器において、マイクロ波プローバーを使用して測定したインピーダンス特性における共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  と電気機械結合係数  $k_t^2$  との間には、以下の関係

$$k_t^2 = \phi_r / \tan(\phi_r)$$

$$\phi_r = (\pi/2) (f_r/f_a)$$

がある。ここで  $\phi_r$  は複素インピーダンスの位相の変化を表す。

## 【0072】

簡単のため、電気機械結合係数  $k_t^2$  として、次式

$$k_t^2 = 4.8 (f_a - f_r) / (f_a + f_r)$$

から算出したものを用いることができ、本明細書では、電気機械結合係数  $k_t^2$  の数値は、この式を用いて算出したものを採用している。

## 【0073】

本発明者らは、図1、図2、図3および図4、5に示す構成の薄膜圧電デバイスについて、その特性、性能が、薄膜圧電デバイスを構成するF B A Rの構造、配置にどのように依存するのかについて検討した。その結果、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離を短くし、ダイアフラムの平面形状を最適化することにより、金属電極の導体損に起因する挿入損失を著しく低減でき、共振特性の良好な複数個の薄膜圧電共振器を集積化して、利得、帯域特性に優れた高性能な薄膜圧電デバイスを実現できることを見出した。

## 【0074】

本発明の薄膜圧電デバイスにおいては、2.0GHz近傍における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数  $K_t^2$  は4.0%以上であるのが好ましい。電気機械結合係数が4.0%未満になると、作製した薄膜圧電フィルターの帯域幅が小さくなり、高周波域で使用するフィルターとして実用に供することが難しくなる傾向にある。また、挿入損失は3.0dB以下である。挿入損失が3.0dBを超えるとフィルター特性が著しく悪化し、高周波域で使用するフィルターとして実用に供することが難しくなる傾向にある。

## 【0075】

## 【実施例】

以下に実施例および比較例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

## 【0076】

## 【実施例1】

本実施例では、以下のようにして、図2に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

## 【0077】

即ち、フォトリソグラフィーにより、厚さ $250\text{ }\mu\text{m}$ の(100)Si基板12の上面を所望の形状にパターン化した後、エッチングして、高さ $3.0\text{ }\mu\text{m}$ で平面寸法 $140\times160\text{ }\mu\text{m}$ 程度の矩形に近い形状の平坦な台地を残すように、その周囲に窪みを設けた。熱酸化法により、基板の上下両面に厚さ $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 層を形成した後、テトラエトキシシラン( $\text{Si}(\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_4)$ を原料に用いた熱CVD法により、 $450^\circ\text{C}$ で基板上面に厚さ $3.5\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 層を堆積させ、 $1000^\circ\text{C}$ でアニールした。次に、微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて、CMP(Chemical Mechanical Polishing)研磨法により基板上面の $\text{SiO}_2$ 層を研磨して、窪みを $\text{SiO}_2$ 層で埋めた個所以外の $\text{SiO}_2$ 層を完全に除去し、平坦な台地形状のSi層が表面に露出するまでの表面状態にした。研磨表面は高さのRMS変動が $10\text{ nm}$ であった。表面に露出した $\text{SiO}_2$ 層をマスクとして、Si層の露出した部分を深さ $0.3\text{ }\mu\text{m}$ ほどエッチング除去した後、DCマグнетロンスパッター法により、Ti金属層(密着層)およそMo金属層(主電極層)をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するMoを主体とする下部電極膜を形成した。フォトリソグラフィーにより下部電極膜を所望の形状にパターン化して、Mo/Ti下部電極15を形成した。個々のFBARの下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $140\times160\text{ }\mu\text{m}$ のダイアフラムよりも各辺が $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度大きな矩形に近い形状とした。下部電極15を構成するMo金属層が(110)配向膜即ち単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Ti下部電極15を形成した基板12上に、純度5Nの金属A1をターゲットとして反応性RFマグネットロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのA

AlN圧電体薄膜を形成した。熱磷酸を使用した湿式エッチングにより、AlN膜を所定の形状にパターン化して、AlN圧電体膜16を形成した。その後、DCマグнетロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、図2に示すごとく、直列回路は厚さ0.18μm、分路回路は厚さ0.208μmで、主体部17aがダイアフラムよりも各辺5μm程度小さな矩形に近い形状のMo上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

### 【0078】

以上のようにして圧電積層構造体14を形成した基板12の下面のSiO<sub>2</sub>層を、フォトリソグラフィーにより、上面のSiO<sub>2</sub>マスクに対応した所定の形状にパターン化した。さらに、マイクロマシン加工用フォトレジスト（Micro Chem Corp製NANO SU-8ネガレジスト）を塗布して、フォトリソグラフィーにより下面SiO<sub>2</sub>マスクと同一形状のレジストマスクを形成した。マスクを形成した基板12をDeep RIE（深彫り型反応性イオンエッチング）仕様のドライエッティング装置に装入し、装置内部にSF<sub>6</sub>ガスとC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>ガスとを交互に導入してエッティングと側壁保護とを繰り返した。側面と底面のエッティング速度比を制御し、每分数μmの速度でエッティングを続けることにより、下部電極15がビアホール22に露出するまでエッティング加工を行って、側壁を垂直に立てた深い角柱状のビアホール22を作製した。その結果、ダイアフラム23と基板裏面の開口部24とをほぼ等しい平面形状と寸法にすることことができた。電気的に接続された隣り合う2つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心を通過する直線が該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する前記圧電積層構造体の支持領域を通過する線分の長さD1と、前記隣り合う2つの薄膜圧電共振器の前記振動部の中心間距離D0との比率D1/D0の値は、0.18であった。

### 【0079】

上記の工程によって製造された、図2の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメーター法によるAlN薄膜の格子定数測定と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。AlN薄膜の結晶性の評価結

果を表1に示す。

【表1】

	金属性電極の材質と厚さ				圧電体選択の作製条件と特性				導電性電子ハイドロゲンの堆積 絶縁体層 材質 厚さ** (μm)					
	下部電極		上部電極		薄膜形成条件		結晶配向性 ドリッピング角* PRHM(deg)							
	密着層 材質	中間層 材質	主電極層 材質	厚さ (nm)	密着層 材質	主電極層 材質	厚さ*	空素濃度 (vol%)						
実施例 1	Ti	—	Mo	200	—	Mo	180	AlN	30	350	2.4	図2	\$102	0.00
実施例 2	Ti	Pt	Mo	230	Ti	Mo	210	AlN	35	300	1.8	図2	\$102	0.00
実施例 3	Ti	Au	Mo	210	—	Mo	190	AlN	25	325	1.6	図1	\$102	0.25
実施例 4	V	Au	Mo (TiN合金)	220	—	Mo (TiN合金)	200	(Al, Ga)N	35	340	1.9	図1	\$102	0.35
実施例 5	Ti	Al	Mo	225	—	Mo	205	AlN	50	315	1.7	図2	\$102	0.00
実施例 6	Ti	Au	Mo	210	Ti	Mo	190	AlN	50	305	1.4	図2	\$102	0.00
実施例 7	Ti	—	Mo	195	—	Al	175	AlN	25	250	2.6	図2	\$102	0.00
実施例 8	Ti	—	Au	170	—	Au	150	ZnO	—	240	2.3	図3	\$102	0.30
実施例 9	Ti	Pt	Mo (TiN合金)	235	Ti	Mo (TiN合金)	215	AlN	45	340	2.0	図1	\$10X	0.30
実施例 10	Zr	Au	Mo	205	Zr	Mo	185	AlN	35	280	2.2	図2	\$102	0.00
実施例 11	Ti	—	Pt	220	Ti	Pt	200	WT	—	600	—	図1	\$10X	0.43
実施例 12	Ni	Al	W	225	—	Al	205	AlN	30	250	4.0	図1	\$10X	0.40
実施例 13	Nb	Pt	W-Mo合金	210	Nb	W-Mo合金	190	(Al, Ga)N	50	270	3.5	図1	\$102	0.20
実施例 14	Hf	—	Pt	210	—	Pt	190	ZnO	—	270	3.6	図2	\$102	0.00
比較例 1	Ni	—	Mo-Re合金	195	—	Mo-Re合金	175	AlN	45	345	3.2	図1	\$102	0.38
比較例 2	Ti	—	Mo	230	Ti	Mo	210	AlN	45	270	2.9	図8	\$102	0.35
比較例 3	Ti	—	Au	160	—	Au	140	ZnO	—	260	3.0	図8	\$102	0.40
比較例 4	Zr	Au	Mo	210	—	Mo	190	AlN	40	260	2.8	図2	\$102	0.00

\* 上段は直列回路における上部電極の厚さ、下段は分路回路における上部電極の厚さを表す  
\*\* ダイアフラム部における絶縁体層の厚さを記載

## 【0080】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークア

ナライザーを使用して、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターを構成するFBARの電極端子15b, 17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数f<sub>r</sub>および反共振周波数f<sub>a</sub>の測定値から、電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>および音響的品質係数Qを求めた。

### 【0081】

マイクロ波プローバーを使用して測定した共振特性における共振周波数f<sub>r</sub>および反共振周波数f<sub>a</sub>と電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>との間には、以下の関係がある。

$$k_t^2 = \phi_r / T \tan(\phi_r)$$

$$\phi_r = (\pi/2) (f_r/f_a)$$

ここで $\phi_r$ は複素インピーダンスの位相の変化を表す。

簡単のため、電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>は次式から算出した。

$$k_t^2 = 4.8 (f_a - f_r) / (f_a + f_r).$$

得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。

【表2】

	薄膜圧電デバイスの構造	薄膜圧電共振器の特性*						薄膜圧電デバイスの性能						
		ダイア フラム 形状	D1 (μm)	D2+D3 (μm)	D0 (μm)	周波数 (GHz)	共振 周波数 (GHz)	結合係数 $K_1^2$ (%)	音響的 品質係數 Q値	デバイス の種類	通過 帯域幅 (MHz)	挿入損失 I.L. (dB)	阻止域 減衰量 (dB)	
実施例 1	矩形	34	150	184	0.18	1.17	2.65	2.72	5.92	1012	梯子型フィルター	66.3	1.8	45.6
実施例 2	台形	35	150	185	0.19	1.32	2.59	2.65	-	-	-	-	-	-
実施例 3	台形	35	150	185	0.19	1.50	2.45	2.51	6.19	1256	梯子型フィルター	64.0	1.4	47.0
実施例 4	矩形	33	135	168	0.20	1.30	1.85	1.87	1.91	1757	梯子型フィルター	42.6	1.3	51.9
実施例 5	矩形	50	160	210	0.24	1.40	2.36	2.42	1.85	1556	梯子型フィルター	40.0	1.7	49.8
実施例 6	5角形	53	170	223	0.24	1.57	2.12	2.18	6.50	1065	梯子型フィルター	62.6	2.0	46.1
実施例 7	曲線を含む非方形	50	150	200	0.25	1.05	2.32	2.37	5.88	941	梯子型フィルター	58.2	1.7	47.3
実施例 8	矩形	44	180	224	0.20	0.98	1.35	1.39	6.98	650	梯子型フィルター	57.5	1.3	45.6
実施例 9	矩形	38	160	198	0.19	1.20	2.20	2.25	5.64	1351	梯子型フィルター	39.8	1.9	45.3
実施例 10	台形	35	150	185	0.19	1.40	2.25	2.31	5.99	1100	送受信端子 型フィルター**	56.9	1.4	46.3
実施例 11	矩形	50	150	200	0.25	0.58	1.72	1.78	8.13	189	梯子型フィルター	59.4	2.9	24.0
実施例 12	矩形	55	175	230	0.24	0.99	2.06	2.09	4.00	825	梯子型フィルター	34.6	1.6	39.7
実施例 13	矩形	40	165	205	0.20	1.30	2.16	2.20	4.27	872	梯子型フィルター	38.8	2.0	40.2
実施例 14	矩形	35	140	175	0.20	1.02	1.89	1.93	4.33	500	梯子型フィルター	34.5	2.5	35.4
比較例 1	台形	180	150	330	0.55	1.00	2.14	2.19	4.84	456	梯子型フィルター	43.7	5.0	26.2
比較例 2	矩形	450	160	610	0.74	1.05	2.10	2.14	-	-	-	-	-	-
比較例 3	矩形	450	150	600	0.75	0.41	2.05	2.09	4.96	539	梯子型フィルター	43.6	8.0	28.8
比較例 4	矩形	20	190	210	0.095	1.50	1.70	1.74	5.18	276	梯子型フィルター	37.1	6.0	25.1
										-	加工中に破損してデバイス化不能			

\* 上段は直列回路におけるFBARの周波数特性、下段は分路回路におけるFBARの周波数特性を表す \*\* 送受信切替器についてはTX(送信側)の性能を記載

## 【0082】

さらに、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザを使用して、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターの信号通

過特性を測定し、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの通過帯域幅、挿入損失 I. L. および阻止域減衰量は表 2 に示す通りであった。

### 【0083】

#### [実施例 2]

本実施例では、以下のようにして、図 2 に示されている構造（但し、ダイアフラム 23 は台形）の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0084】

即ち、下部電極として、Ti 金属層（密着層）、Pt 金属層（中間層）およびMo 金属層（主電極層）をこの順番に形成し、表 1 に記載した材質と厚さを有する Mo/Pt/Ti 下部電極 15 を形成したこと、上部電極として、Ti 金属層（密着層）および Mo 金属層（主電極層）をこの順番に形成し、表 1 に記載した材質と厚さを有する Mo/Ti 上部電極 17 を形成したこと、および Deep RIE により加工したダイアフラム 23 の形状を台形としたこと以外は、実施例 1 と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記 D1/D0 は、0.19 であった。

### 【0085】

上記の工程によって製造された、図 2 の構造（但し、ダイアフラム 23 は台形）の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、実施例 1 と同様に、ディフラクトメーター法による Al N 薄膜の格子定数測定と (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) 測定を行った。Al N 薄膜の結晶性の評価結果を表 1 に示す。

### 【0086】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例 1 と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターを構成する FBAR の共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数 Q を求めた。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数 Q は表 2 に示す通りであった。

**【0087】**

さらに、実施例1と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターの信号通過特性を測定し、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L. および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

**【0088】****[実施例3]**

本実施例では、以下のようにして、図1に示されている構造（但し、ダイアフラム23は台形）の薄膜圧電フィルターを作製した。

**【0089】**

即ち、熱酸化法により、厚さ $250\mu\text{m}$ の(100)Si基板12の上下両面に厚さ $1.2\mu\text{m}$ のSiO<sub>2</sub>層を $1100^\circ\text{C}$ で形成した後、上面側のSiO<sub>2</sub>層のみをエッチングして、上面のSiO<sub>2</sub>層の厚さを調整し、SiO<sub>2</sub>から成り、表1に記載の厚さ値を有する絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロンスパッター法により、Ti金属層（密着層）、Au金属層（中間層）およびMo金属層（主電極層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーにより、所望の形状にパターン形成して、Mo/Au/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは矩形に近い形状とした。Mo金属層が(110)配向膜、即ち単一配向膜であることはX線回折測定により確認した。このMo下部電極15を形成した絶縁体層13上に、純度5Nの金属Alをターゲットとして反応性RFマグネトロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのAlN圧電体薄膜を形成した。熱磷酸を使用した湿式エッチングにより、AlN膜を所定の形状にパターン化してAlN圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、図1に示すごとく、直列回路は厚さ $0.19\mu\text{m}$ 、分路回路は厚さ $0.225\mu\text{m}$ で、主体部17aの平面面積 $23,000\mu\text{m}^2$ 前後の台形に近い形状のMo上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

**【0090】**

以上のようにして圧電積層構造体14を形成した基板12の下面のSiO<sub>2</sub>層を、フォトリソグラフィーにより、上面のSiO<sub>2</sub>マスクに対応した所定の形状にパターン化した。さらに、マイクロマシン加工用フォトレジスト（Micro Chem Corp製NANO SU-8ネガレジスト）を塗布して、フォトリソグラフィーにより下面SiO<sub>2</sub>マスクと同一形状のレジストマスクを形成した。マスクを形成した基板12をDeep RIE（深彫り型反応性イオンエッチング）仕様のドライエッチング装置に装入し、装置内部にSF<sub>6</sub>ガスとC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>ガスとを交互に導入してエッチングと側壁保護とを繰り返した。側面と底面のエッチング速度比を制御し、每分数μmの速度でエッチングを続けることにより、下部電極主体部15aがビアホール22に露出するまでエッチング加工を行って、側壁を垂直に立てた深い角柱状のビアホール22を作製した。その結果、ダイアフラム23と基板裏面の開口部24とをほぼ等しい平面形状と寸法にすることことができた。本実施例の前記D1/D0は、0.19であった。

#### 【0091】

上記の工程によって製造された、図1の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例1と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0092】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例1と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターを構成するFBARの共振周波数f<sub>r</sub>および反共振周波数f<sub>a</sub>の測定値から、電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数k<sub>t</sub><sup>2</sup>および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。

#### 【0093】

さらに、実施例1と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターの信号通過特性を測定し、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

**【0094】****[実施例4]**

本実施例では、以下のようにして、図1に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

**【0095】**

即ち、下部電極として、V金属層（密着層）、Au金属層（中間層）およびTZM合金層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するMo（TZM合金）／Au／V下部電極15を形成したこと、このMo（TZM合金）／Au／V下部電極15を形成した絶縁体層13上に、反応性RFマグネトロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みの窒化アルミニウム－窒化ガリウム系固溶体（Al<sub>1-x</sub>G<sub>x</sub>N）薄膜を形成したこと、上部電極として、表1に記載した材質と厚さを有するMo（TZM合金）上部電極17を形成したこと、およびDeep RIEにより加工したダイアフラム23の形状を矩形としたこと以外は、実施例3と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1／D0は、0.20であった。

**【0096】**

上記の工程によって製造された、図1の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AIN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

**【0097】**

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数f<sub>r</sub>および反共振周波数f<sub>a</sub>の測定値から、電気機械結合係数k<sub>t2</sub>および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数k<sub>t2</sub>および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に

示す通りであった。

### 【0098】

#### 【実施例5～7】

本実施例では、以下のようにして、図2に示されている構造（但し、ダイアフラム23は表1に記載の形状とする）の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0099】

即ち、下部電極として、表1に記載の密着層、中間層およびMo金属層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するMo/A1/TiまたはMo/Au/TiあるいはMo下部電極15を形成したこと、上部電極として、表1に記載した材質と厚さを有するMoまたはMo/TiあるいはA1上部電極17を形成したこと、およびDeep RIEにより加工したダイアフラム23の形状を表1に記載の形状としたこと以外は、実施例1と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、表2に示すとおり、0.24～0.25であった。

### 【0100】

上記の工程によって製造された、図2の構造（但し、ダイアフラム23は表1に記載の形状）の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例1と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

### 【0101】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数frおよび反共振周波数faの測定値から、電気機械結合係数kt<sup>2</sup>および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数kt<sup>2</sup>および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

### 【0102】

図6 (a) および (b) には、実施例6における薄膜圧電フィルターのインピーダンス周波数特性およびフィルター通過帯域特性を示す。本実施例の薄膜圧電フィルターでは、共振周波数ピーク31と反共振周波数ピーク32との間の微細ピークは極めて少なく、図12Aに示したように、通過帯域特性は著しく良好である。この良好な通過帯域特性は、ダイアフラム形状を非対称の5角形にしたことによる。

### 【0103】

#### [実施例8]

本実施例では、以下のようにして、図3に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0104】

即ち、下部電極として、Ti金属層（密着層）およびAu金属層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するAu/Ti下部電極15を形成したこと、Au/Ti下部電極15を形成した絶縁体層13上に、ZnOをターゲットとして、RFマグнетロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのZnO圧電体薄膜を形成したこと、上部電極として、表1に記載した厚さを有する2つのAu上部電極17A, 17Bを形成したこと、およびDeep RIEにより加工したダイアフラム23の形状を矩形としたこと以外は、実施例3と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、0.20であった。

上記の工程によって製造された、図3の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AIN薄膜の結晶性の評価した。評価結果を表1に示す。

### 【0105】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数frおよび反共振周波数faの測定値から、電気機械結合係数kt2および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止

域減衰量)を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

### 【0106】

#### 〔実施例9〕

本実施例では、以下のようにして、図1に示されている構造と類似の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0107】

即ち、熱酸化法により形成した $\text{SiO}_2$ 層に代えて、モノシラン( $\text{SiH}_4$ )およびアンモニア( $\text{NH}_3$ )を原料として用いた低圧CVD法により、800℃で $\text{SiNX}$ 層を堆積させたこと、下部電極の主電極層をMoからTZM合金層に変えて、表1に記載した材質と厚さを有するMo(TZM合金)/Pt/Ti下部電極15を形成したこと、上部電極の主電極層をMoからTZM合金層に変えて、表1に記載した材質と厚さを有するMo(TZM合金)/Ti上部電極17を形成したこと、Deep RIEにより加工したダイアフラム23の形状を矩形としたこと、および薄膜圧電フィルターを構成する個々のFBARの配列を梯子型回路から格子型回路に変更したこと以外は、実施例3と同様の操作を繰り返して、格子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、0.19であった。

上記の工程によって製造された、格子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

### 【0108】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、格子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターを構成するFBARの電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基

本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  は表 2 に示す通りであった。

### 【0109】

さらに、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、格子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターの信号通過特性を測定し、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの通過帯域幅、挿入損失 I. L. および阻止域減衰量は表 2 に示す通りであった。

### 【0110】

#### [実施例 10]

本実施例では、以下のようにして、図 2 に示されている構造（但し、ダイアフラム 23 は台形とする）の送信用薄膜圧電フィルターおよび受信用薄膜圧電フィルターに 90 度位相整合器を組み合せた送受信切替器を作製した。

### 【0111】

即ち、下部電極として、表 1 に記載の密着層、中間層および主電極層をこの順番に形成し、表 1 に記載した材質と厚さを有する Mo/Au/Zr 下部電極 15 を形成したこと、上部電極として、表 1 に記載した材質と厚さを有する Mo/Zr 上部電極 17 を形成したこと、および Deep RIE により加工したダイアフラム 23 の形状を台形としたこと以外は、実施例 1 と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る送信用薄膜圧電フィルターおよび受信用薄膜圧電フィルターを作製した。次ぎに、これらの薄膜圧電フィルターに 90 度位相整合器を組み合せて送受信切替器を作製した。本実施例の前記 D1/D0 は、0.19 であった。

### 【0112】

上記の工程によって製造された送受信切替器を構成する、図 2 の構造（但し、ダイアフラム 23 は台形）の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例 1 と同様に、AlN 薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表 1 に示す。

### 【0113】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークア

ナライザーを使用して、実施例1と同様に、送受信切替器を構成する上記の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターの共振周波数 $f_r$ 、反共振周波数 $f_a$ 、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。

#### 【0114】

さらに、実施例1と同様に、送受信切替器を構成する上記の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターの信号通過特性を測定し、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

#### 【0115】

##### [実施例11, 12]

本実施例では、以下のようにして、図1に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

#### 【0116】

即ち、下部電極として、表1に記載の密着層、中間層および主電極層をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するP<sub>t</sub>/T<sub>i</sub>またはW/A<sub>1</sub>/N<sub>i</sub>下部電極15を形成したこと、P<sub>t</sub>/T<sub>i</sub>またはW/A<sub>1</sub>/N<sub>i</sub>下部電極15を形成した絶縁体層13上に、RFマグнетロンスパッター法または反応性RFマグネットロニンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのPZT(Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>)圧電体薄膜またはAIN圧電体薄膜を形成したこと、および上部電極として、表1に記載した厚さを有する2つのP<sub>t</sub>/T<sub>i</sub>またはA<sub>1</sub>上部電極17を形成したこと以外は、実施例9と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、表2に示すとおりである。

上記の工程によって製造された、図1の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AIN薄膜の結晶性の評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0117】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失 I. L. および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

#### 【0118】

##### 【実施例13】

本実施例では、以下のようにして、図1に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

#### 【0119】

即ち、下部電極として、Nb金属層（密着層）、Pt金属層（中間層）およびW-Mo合金層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するW-Mo合金/Pt/Nb下部電極15を形成したこと、このW-Mo合金/Pt/Nb下部電極15を形成した絶縁体層13上に、反応性RFマグнетロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みの窒化アルミニウム—窒化ガリウム系固溶体( $Al_{1-x}Ga_xN$ )薄膜を形成したこと、上部電極として、表1に記載した材質と厚さを有するW-Mo合金/Nb上部電極17を形成したこと、およびDeep RIEにより加工したダイアフラム23の形状を矩形としたこと以外は、実施例3と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、0.20であった。

上記の工程によって製造された、図3、4の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AIN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0120】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L. および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

### 【0121】

図7 (a) および (b) には、本実施例13における薄膜圧電フィルターのインピーダンス周波数特性およびフィルター通過帯域特性を示す。図6(実施例6)と図7(本実施例)とを比較すると分かるように、本実施例の図7(a)では、共振周波数ピーク31と反共振周波数32との間に多くの微細なピークが存在するのに対して、実施例6の図6(a)では、共振周波数ピーク31と反共振周波数ピーク32との間の微細ピークは極めて少ない。したがって、図6(a)および図7(a)に示したフィルター通過帯域特性を比較すると分かるように、実施例6の薄膜圧電フィルターの方が通過帯域特性が良好である。この通過帯域特性における差異は、主としてダイアフラム形状に依存しており、同形状を非対称の5角形することが、矩形形状よりも好ましいということを示している。

### 【0122】

#### [実施例14]

本実施例では、以下のようにして、図2に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0123】

即ち、下部電極として、表1に記載の密着層および主電極層をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するP<sub>t</sub>/H<sub>f</sub>下部電極15を形成したこと、上部電極として、表1に記載した厚さを有するP<sub>t</sub>上部電極17を形成したこと以外は、実施例1と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フ

イルターを作製した。本実施例の前記D1/D0は、0.20であった。

#### 【0124】

上記の工程によって製造された、図2の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例1と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0125】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例1と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

#### 【0126】

##### [比較例1]

本比較例では、以下のようにして、図1に示されている構造（但し、ダイアフラム23は台形）の薄膜圧電フィルターを作製した。

#### 【0127】

即ち、下部電極として、Ni金属層（密着層）、およびMo-Re合金層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するMo-Re合金/Ni下部電極15を形成したこと、このMo-Re合金/Ni下部電極15を形成した絶縁体層13上に、反応性RFマグнетロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのAlN薄膜を形成したこと、上部電極として、表1に記載した材質と厚さを有するMo-Re上部電極17を形成したこと以外は、実施例3と同様の操作を繰り返して、梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製した。本比較例の前記D1/D0は、0.55であった。

#### 【0128】

上記の工程によって製造された、図1の構造（但し、ダイアフラム23は台形）の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、A1N薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

### 【0129】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フィルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qを求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失I.L.および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

### 【0130】

#### 【比較例2、3】

本比較例では、以下のようにして、図8に示されている構造の薄膜圧電フィルターを作製した。

### 【0131】

即ち、熱酸化法により、厚さ $300\mu m$ の(100)Si基板12の上下両面に、厚さ $1.0\mu m$ のSiO<sub>2</sub>層を $1100^\circ C$ で形成した後、上面側のSiO<sub>2</sub>層のみをエッチングして、上面のSiO<sub>2</sub>層の厚さを調整し、SiO<sub>2</sub>から成り、表1に記載の厚さ値を有する絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグнетロンスパッター法により、表1に記載の密着層および主電極層をこの順番に形成し、フォトリソグライバーにより、所望の形状にパターニングして、Mo/TiまたはAu/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aはダイアフラム23よりも各辺 $40\mu m$ 程度大きな矩形に近い形状とした。Mo金属層が(110)配向膜、即ち単一配向膜であることはX線回折測定により確認した。このMo下部電極15を形成した絶縁体層13上に、金属A1をターゲットとする反応性RFマグネットロンスパッター法またはZnOをター

ゲットとするRFマグнетロンスパッター法により、表1に記載の条件で、表2に記載した厚みのAlN圧電体薄膜またはZnO圧電体薄膜を形成した。熱燐酸を使用した湿式エッチングによりAlN膜を、または燐酸-塩酸混合水溶液を使用した湿式エッチングによりZnO膜を、所定の形状にパターン化して、AlNまたはZnOより成る圧電体膜16を形成した。

#### 【0132】

その後、DCマグネットロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、表1に記載した材質と厚さで、主体部17aがダイアフラム23よりも各辺 $5\mu\text{m}$ 程度小さな矩形に近い形状のMo/TiまたはAu上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

#### 【0133】

以上のようにして、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16より成る圧電積層構造体14を形成したSi基板12の下面に形成された厚さ $1.0\mu\text{m}$ のSiO<sub>2</sub>層を、フォトリソグラフィーによりパターン形成して、湿式エッチング用のマスクを作製した。Si基板12の上面に形成した圧電積層構造体14をプロテクトワックスで被覆し、下面に形成したSiO<sub>2</sub>マスクを用いて、ダイアフラム23に対応するSi基板12の部分を加熱したKOHでエッチング除去し、空隙となるピアホール22を作製した。その結果、ダイアフラムの平面寸法が $150\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$ または $160\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ 前後であり、基板裏面の開口部の平面寸法が $575\mu\text{m} \times 575\mu\text{m}$ または $585\mu\text{m} \times 585\mu\text{m}$ のピアホール22が得られた。本比較例の前記D1/D0は、表2に示したとおりである。

#### 【0134】

上記の工程によって製造された、図8の構造の梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターについて、実施例3と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0135】

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、実施例3と同様に、梯子型回路より成る上記薄膜圧電フ

イルターのインピーダンス特性および信号通過特性を測定し、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  を求めると共に、フィルターとしての性能（通過帯域幅、挿入損失、阻止域減衰量）を評価した。得られた薄膜圧電フィルターの厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  は表2に示す通りであった。また、同フィルターの通過帯域幅、挿入損失 I. L. および阻止域減衰量は表2に示す通りであった。

#### 【0136】

##### 【比較例4】

本比較例では、以下のようにして、図2に示されている構造の薄膜圧電フィルターの作製を、前記D1/D0が、0.095となるように試みた。

#### 【0137】

即ち、下部電極として、Zr金属層（密着層）、Au金属層（中間層）およびMo金属層（主電極層）をこの順番に形成し、表1に記載した材質と厚さを有するMo/Au/Zr下部電極15を形成したこと、上部電極として、表1に記載した厚さを有するMo上部電極17を形成したこと以外は、実施例1と同様の操作を繰り返した。梯子型回路より成る薄膜圧電フィルターを作製しようとしたが、隣り合うダイアフラム間に存在する支持領域の幅D1が小さいので、ダイシング、チップ化などの加工中に基板が破損して、薄膜圧電フィルターとしてデバイス化することが出来なかった。

#### 【0138】

上記の工程によって薄膜圧電フィルターの作製を試みた試料について、実施例1と同様に、AlN薄膜の結晶性を評価した。評価結果を表1に示す。

#### 【0139】

隣り合うダイアフラム間に存在する支持領域の幅D1が小さいために、ダイシング、チップ化などの加工中に基板が破損して、薄膜圧電フィルターとしてデバイス化することが出来なかつたので、FBARまたはフィルターとしての特性を評価することが出来なかつた。

#### 【0140】

### 【発明の効果】

以上説明したように、プラズマを利用した深いトレンチエッティングである Deep RIE (深彫り型反応性イオンエッティング) 法により、振動部となる部分の下にある基板部分を基板の下面側から異方的に除去して、振動空間となるビアホールを形成すると、ダイアフラムの寸法と基板下面開口部の寸法との差が小さなビアホールを作製できるので、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離を短くして、金属電極の導体損に起因する挿入損失を著しく低減できることが分かった。

### 【0141】

本発明の薄膜圧電デバイスによれば、電気的に接続された隣り合う薄膜圧電共振器の中心間距離が短く、近接した位置に配置された複数個の薄膜圧電共振器を組み合せて集積化することにより、金属電極の導体損に起因する挿入損失を著しく低減でき、低挿入損失で、電気機械結合係数や音響的品質係数 (Q) の優れた薄膜圧電デバイスを実現できることが明らかとなった。また、薄膜圧電共振器の振動空間を構成するダイアフラムの平面形状を工夫し、最適化することにより、通過帯域内に余分なスプリアス信号、ノイズが入らず、低挿入損失で、利得、帯域特性に優れた薄膜圧電デバイスに仕上がることも分かった。本発明の薄膜圧電デバイスを用いた場合、挿入損失が小さく、利得、帯域特性に優れているため、VCO (圧電薄膜共振子)，フィルター，送受信切替器としての性能が向上し、移動体通信機向けの各種デバイスとして利用することができる。

### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明による薄膜圧電デバイスの実施形態を示す模式的平面図および断面図である。

#### 【図2】

本発明による薄膜圧電デバイスの別の実施形態を示す模式的平面図および断面図である。

#### 【図3】

本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図およ

び断面図である。

【図4】

本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図である。

【図5】

本発明による薄膜圧電デバイスのさらに別の実施形態を示す模式的平面図である。

【図6】

実施例6の薄膜圧電デバイスのインピーダンス周波数特性およびフィルター通過帯域特性を示すグラフである。

【図7】

実施例13の薄膜圧電デバイスのインピーダンス周波数特性およびフィルター通過帯域特性を示すグラフである。

【図8】

従来技術による薄膜圧電デバイスの実施形態を示す模式的平面図および断面図である。

【符号の説明】

100 薄膜圧電デバイス

110 F B A R

120 F B A R

130 F B A R

140 F B A R

200 薄膜圧電デバイス

210 F B A R

220 F B A R

230 F B A R

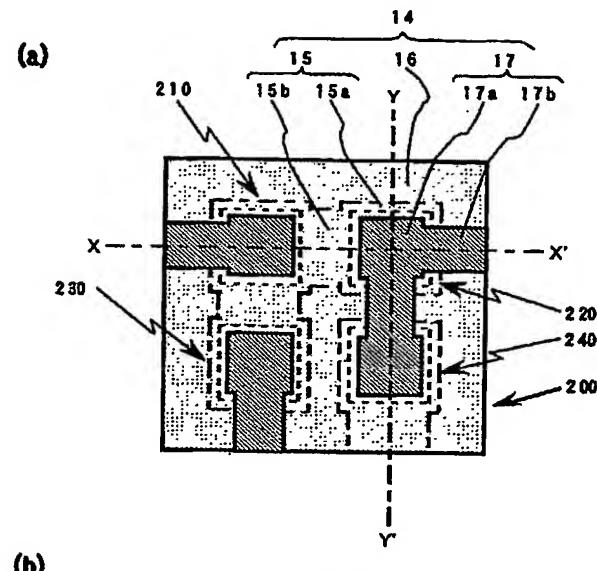
240 F B A R

250 F B A R

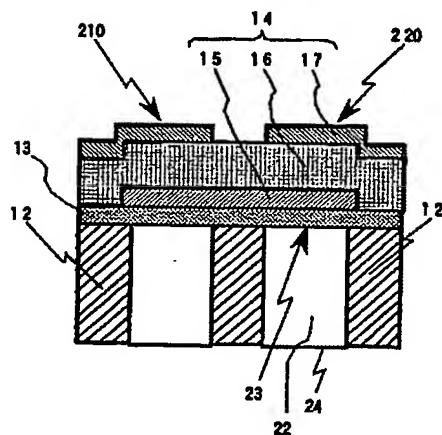
1 2 基板  
1 3 絶縁体層  
1 4 圧電積層構造体  
1 5 下部電極  
1 5 a 下部電極主体部  
1 5 b 下部電極端子部  
1 6 圧電体膜  
1 7 上部電極  
1 7 a 上部電極主体部  
1 7 b 上部電極端子部  
1 7 A 上部電極の第1電極部  
1 7 A a 第1電極部の主体部  
1 7 A b 第1電極部の端子部  
1 7 B 上部電極の第2電極部  
1 7 B a 第2電極部の主体部  
1 7 B b 第2電極部の端子部  
2 2 ビアホール  
2 3 ダイアフラム  
2 4 ビアホール開口部  
D 0 隣り合うダイアフラムの中心間距離  
D 1 隣り合うダイアフラムを結ぶ直線における支持領域の距離  
D 2 隣り合うダイアフラムを結ぶ直線におけるダイアフラム上の距離  
D 3 隣り合うダイアフラムを結ぶ直線におけるダイアフラム上の距離

【書類名】 図面

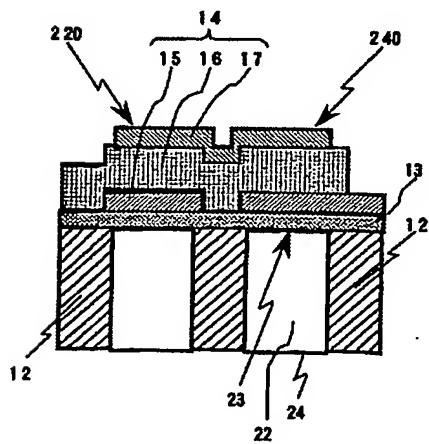
【図 1】



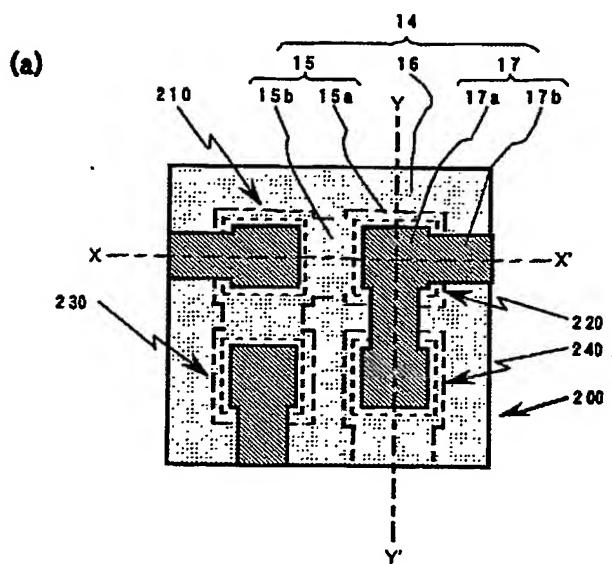
(b) X-X' 断面



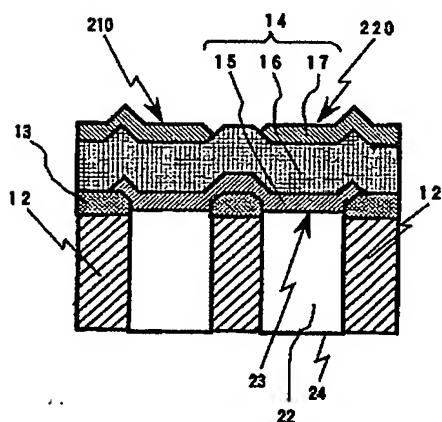
(c) Y-Y' 断面



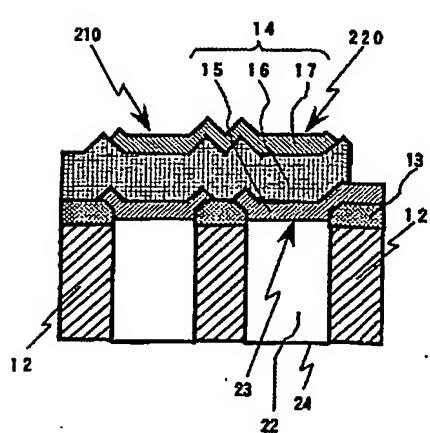
【図2】



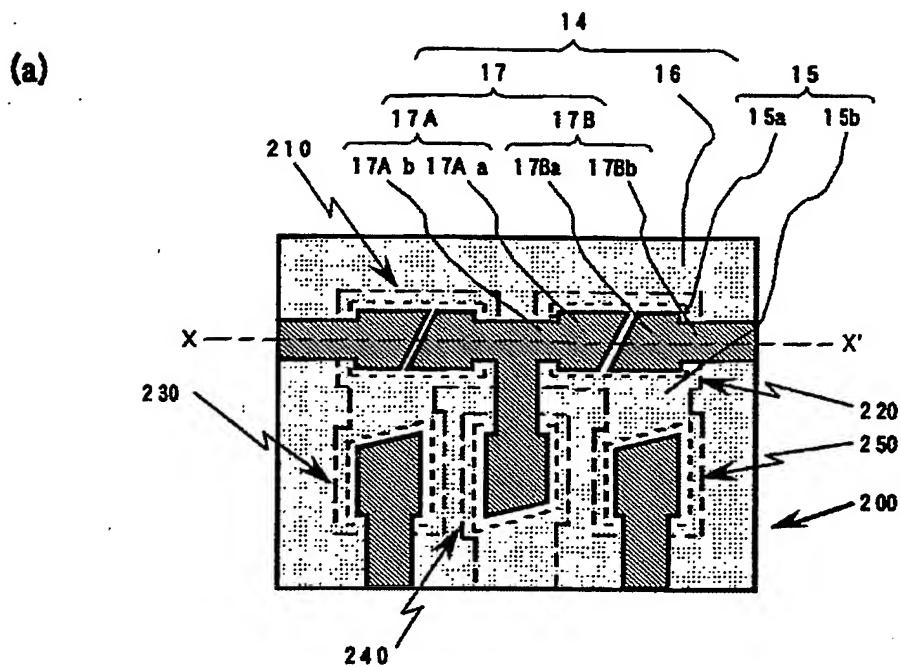
(b)  
X-X' 断面



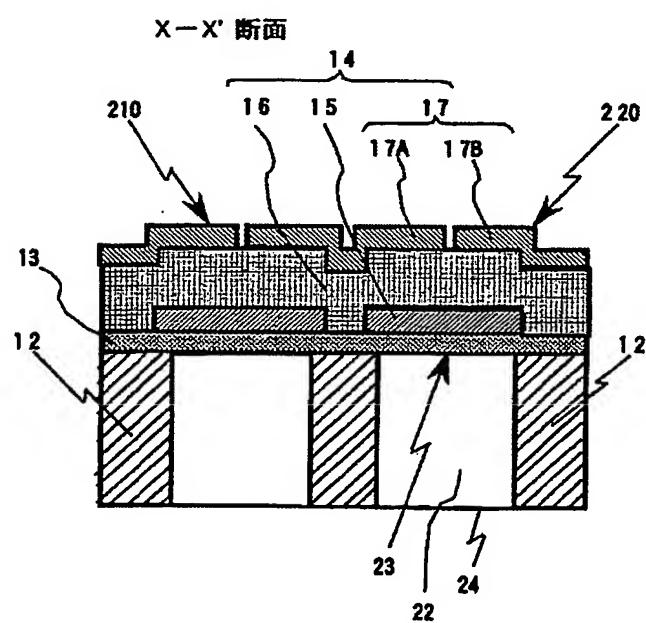
(c)  
Y-Y' 断面



【図3】

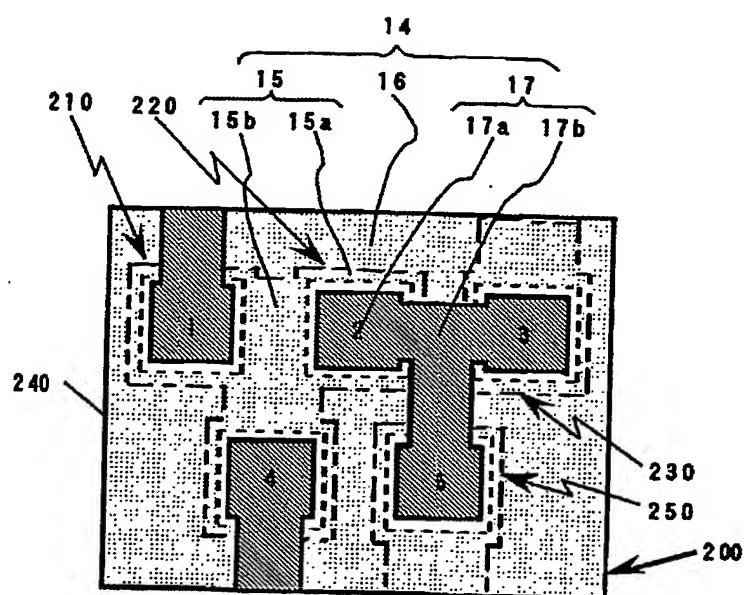


(b)

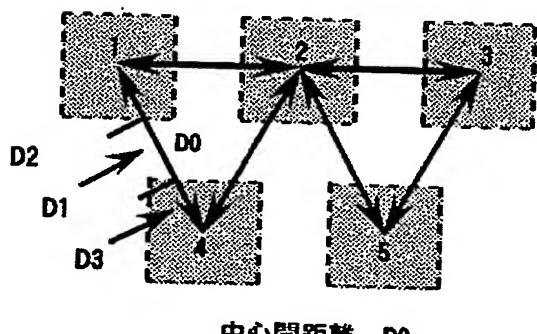


【図4】

(a)

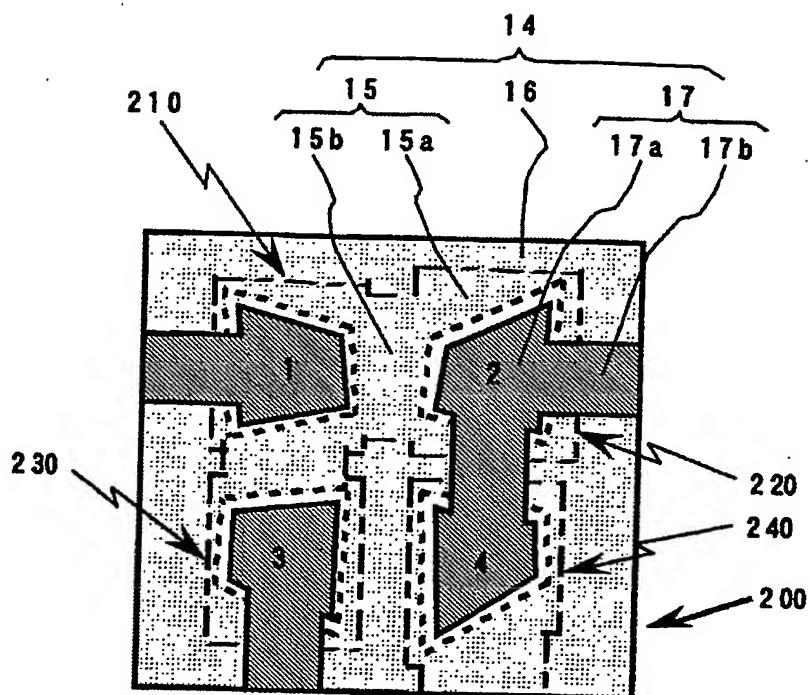


(b)

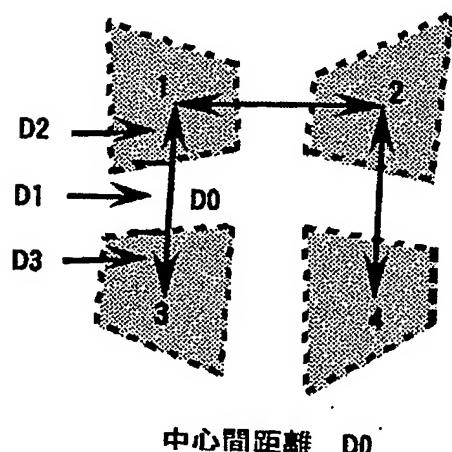


【図 5】

(a)

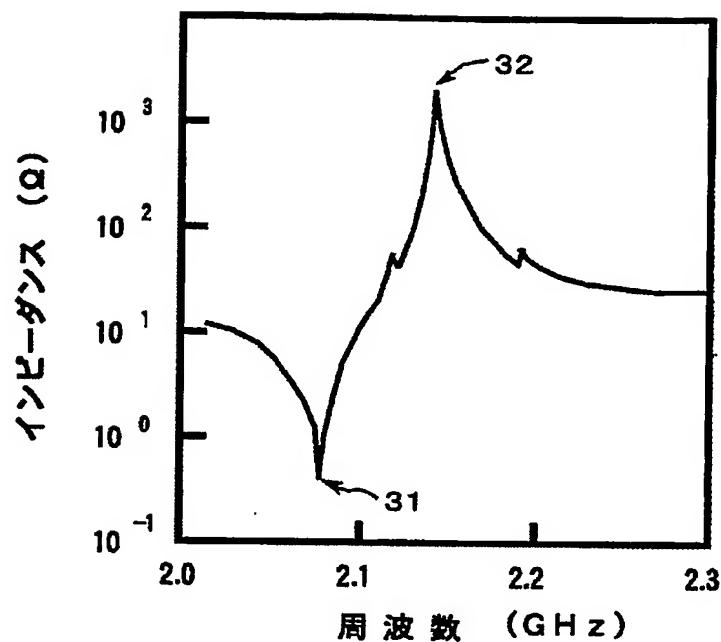


(b)

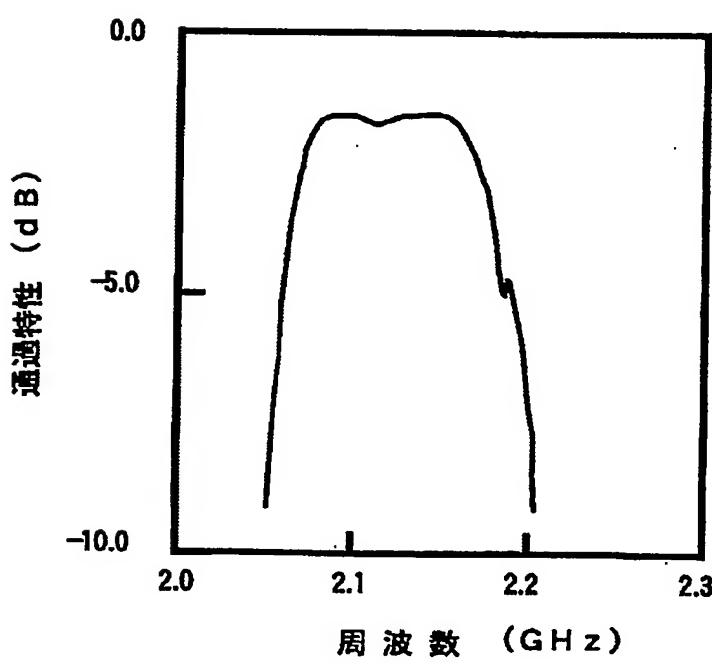


【図6】

(a)

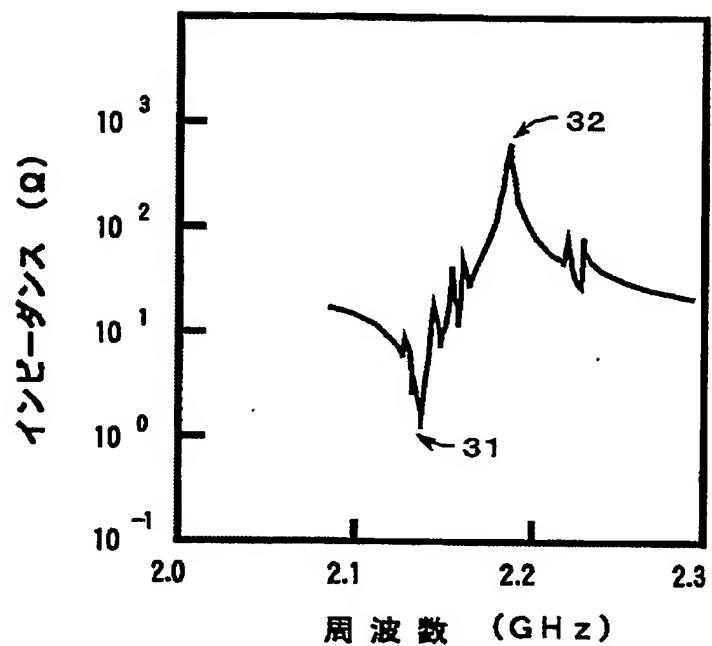


(b)

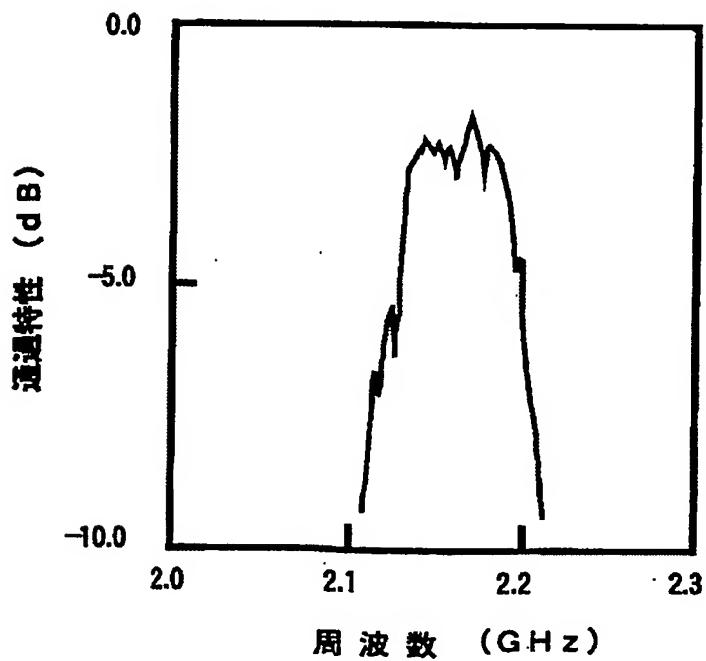


【図7】

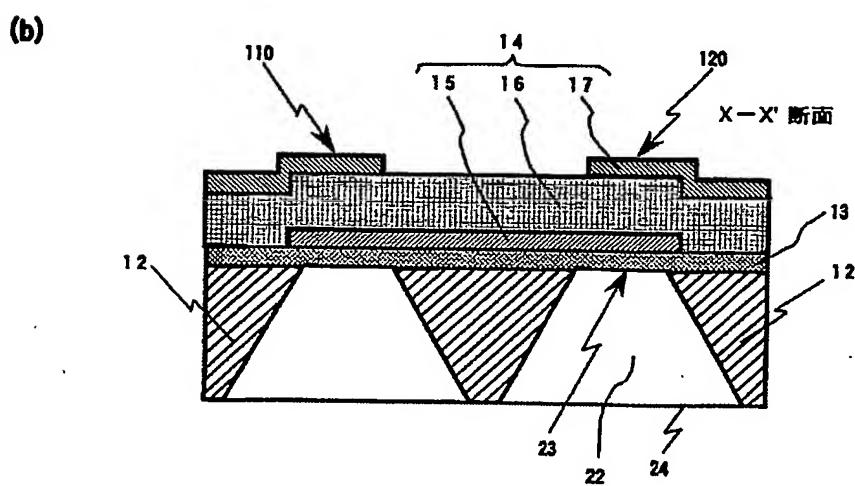
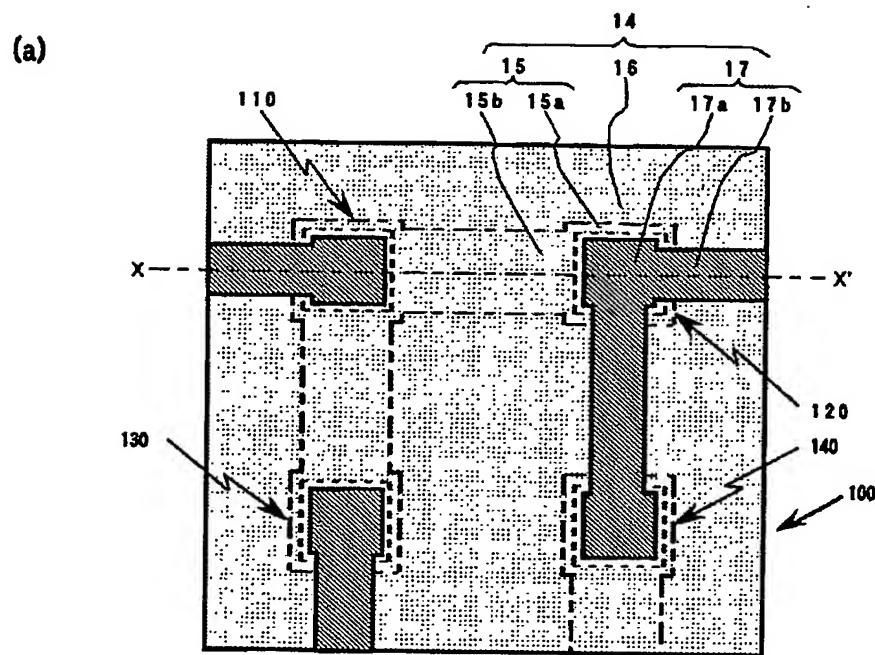
(a)



(b)



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

電気機械結合係数が大きく、音響的品質係数（Q値）、周波数温度特性に優れたF B A R またはS B A R より成る複数個の共振器を組み合せることにより作製される、挿入損失が小さくて、性能の改良された薄膜圧電デバイスを提供する。

【解決手段】

振動空間を有する基板上に複数の薄膜圧電共振器の形成された薄膜圧電デバイスであって、基板上に形成された圧電積層構造体は、前記振動空間上部に位置するダイアフラムと、振動空間を除く前記基板の上部に位置する支持部領域とからなり、電気的に接続された隣り合う2つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心を通過する直線が該隣り合う薄膜圧電共振器の間に存在する前記支持部領域を通過する線分の長さD1と、前記隣り合う2つの薄膜圧電共振器の前記ダイアフラムの中心間距離D0との比率D1/D0が0.1～0.5である少なくとも1組の薄膜圧電共振器を有することを特徴とする薄膜圧電デバイス。

【選択図】

図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号 特願2002-179910  
受付番号 50200898999  
書類名 特許願  
担当官 第七担当上席 0096  
作成日 平成14年 6月21日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】 平成14年 6月20日

次頁無

出証特2003-3059033

特願2002-179910

出願人履歴情報

識別番号 [000000206]

1. 変更年月日 1990年 8月28日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 山口県宇部市西本町1丁目12番32号  
氏 名 宇部興産株式会社

2. 変更年月日 2001年 1月 4日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 山口県宇部市大字小串1978番地の96  
氏 名 宇部興産株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**